

МЕТОДЫ И ПРОБЛЕМЫ ПРОБООТБОРА ПРИ АНАЛИЗЕ ВОЗДУХА (обзор)

Е.В.Морозкина, Ю.М.Полежаев
Уральский государственный технический университет
620002, Екатеринбург, Мира, 19,

Описаны простой и совмещенный с концентрированием способы пробоотбора при анализе воздуха. Второй способ дополнительно подразделен на абсорбционный, адсорбционный и конденсационный методы. Дана краткая характеристика этих методов и трудностей, возникающих при их осуществлении.

Морозкина Екатерина Владимировна - аспирант кафедры аналитической химии Уральского Государственного технического университета.

Область научных интересов: анализ воздуха и других газовых сред. Имеет научную публикацию.

Полежаев Юрий Михайлович - заведующий кафедрой аналитической химии Уральского Государственного технического университета, доктор технических наук, профессор.

Область научных интересов: химия, технология и анализ веществ и материалов на основе редких металлов.

Автор свыше 420 научных и методических публикаций, в том числе 48 авторских свидетельств, 2 монографий и 2 учебных пособий.

1. МЕТОДЫ АНАЛИЗА ВОЗДУХА И ТРУДНОСТИ ПРОБООТБОРА

Определение атмосферных примесей имеет большое значение в практике в связи с возрастающим загрязнением воздушного бассейна. Перемещение огромных воздушных масс, содержащих газообразные загрязнения и пылевые частицы, а также океанические, морские и речные течения способствуют сравнительно быстрому распространению загрязнений во всей биосфере. В связи с этим перед аналитической химией стоит задача получения информации о качественном и количественном составе проб воздуха, необходимой для определения и прогнозирования степени загрязнения воздуха и выполнения мероприятий по охране окружающей среды, а также для гигиенических и токсикологических исследований.

Определение загрязнений воздуха относится к числу наиболее трудных задач аналитики, поскольку в одной пробе могут одновременно нахо-

дится сотни токсичных примесей органических и неорганических соединений различных классов и в различных состояниях (в виде паров, аэрозолей и газов). Кроме того, концентрации токсичных веществ, попадающих из различных источников в атмосферу, находятся на уровне следовых количеств (микропримесей), т.е. в интервале 10^{-4} – 10^{-7} % и ниже. В настоящее время методы определения в воздухе низких концентраций токсичных химических соединений описаны для 400 видов веществ, нормированных в нашей стране и США [1].

Совершенствуются методы анализа неорганических газов, включающие как химические и физико-химические, так и физические методы анализа. Существуют несколько видов газовой фазы анализа. Следует отметить, что каждый из методов имеет свои ограничения. Так химические и физико-химические методы анализа не позволяют довольно точно определить активные составляющие приземного воздуха (O_2 , N_2 , H_2O ,

H_2 , CO_2 и др.) и оказываются неприменимы к инертным газам. Эти методы вовсе непригодны для анализа состава воздуха в верхних слоях атмосферы, когда порции газа, предоставленные для анализа, очень малы. Наиболее пригодными в таких условиях остаются спектральные и масс-спектральные методы анализа [2].

Воздух представляет собой неустойчивую систему с постоянно изменяющимся составом (наличие влаги, фотохимические реакции, изменение метеорологических условий). Трудности при анализе подобных систем встречаются на каждом этапе аналитических операций, начиная с отбора пробы и кончая детектированием примеси. Требуется большое искусство, чтобы получить представительную и хорошо воспроизводимую пробу, сконцентрировать определяемые примеси (степень извлечения их из воздуха должна быть не менее 75 %), затем практически полностью извлечь их из ловушки и сохранить без изменений при транспортировке пробы. Не менее трудным является селективное и достоверное определение целевых (обычно наиболее токсичных) компонентов исследуемого воздуха в присутствии десятков и сотен мешающих анализу примесей. Очень остро стоит проблема идентификации микропримесей в сложных загрязнителях, абсолютное решение которой возможно в полной мере пока лишь с помощью хромато-масс-спектрального анализа [3]. Допущенные при отборе проб ошибки могут полностью исказить результаты химического анализа.

В воздухе промышленных районов и производственных помещений содержится до нескольких сотен соединений различных классов, в том числе органических и неорганических газов (аммиак, бутадиев, озон и др.), пары веществ, представляющих собой жидкость с температурой кипения до 230-250 °C (ароматические углеводороды, хлорированные алифатические углеводороды, низшие ациклические спирты, кислоты и т.п.), а так же аэрозоли, мелкодисперсные частицы веществ, обладающих сравнительно высокой летучестью (гексаметилендиамин, иод, малеиновый ангидрид, нафталин, фенол и др.). Поэтому универсального способа пробоотбора, позволяющего улавливать из воздуха загрязняющие вещества в различных агрегатных состояниях, не существует [4].

Особенностью пробоотбора воздуха является обычно необходимость одновременного концентрирования определяемых компонентов, что связано с их переводом в конденсированное (жидкое или твердое) состояние или с применением

поглотителя, находящегося в конденсированном состоянии. В соответствии с этим методы пробоотбора воздуха можно подразделить на простые (отбор порций воздуха в сосуды с ограниченной вместимостью) и совмещенные (с концентрированием).

2. ПРОСТОЙ ПРОБООТБОР

Отбор пробы в сосуды с ограниченной вместимостью рекомендуется для летучих веществ, содержащихся в воздухе в значительных концентрациях, а также при использовании для анализа методом газовой хроматографии. Для этого используют шприцы, газовые пипетки и бутылки. Газовые пипетки заполняют исследуемым воздухом обменным способом, т.е. его многократно пропускают через пипетку. Шприцы "промывают" исследуемым воздухом десятикратно. Газы, предназначенные для анализа, могут течь и по трубопроводам промышленных установок или находиться в окружающей прибор среде.

Как уже упоминалось, наиболее важная стадия всех аналитических методов – отбор представительной пробы. Например, отбор пробы при анализе газов высокой чистоты масс-спектрометрическим методом не должен производиться в отдельные ампулы, так как любое перемещение газа из одного сосуда в другой может изменить его чистоту и должно быть подвергнуто контролю. Здесь целесообразно прямое направление газа на анализ из исходной емкости через трубопровод, сорбция в котором должна быть минимальной и измеренной [4].

Сохранность пробы в сосудах, сделанных даже из наиболее инертных материалов, не обеспечивается и уже при нормальной температуре наблюдаются потери реакционноспособных газовых и жидких загрязнений.

3. СОВМЕЩЕННЫЙ ПРОБООТБОР

3.1. Абсорбционный метод

Отбор газообразных или парообразных примесей, осуществляемый барботированием воздуха через жидкий поглотитель, относится к одному из наиболее часто употребляемых способов и позволяет использовать высокие скорости пробоотбора [1, 3]. Преимуществом данного способа является то, что для последующего определения можно брать аликвотную часть раствора или (в случае парового варианта) паров над ним. К недостаткам абсорбционного пробоотбора следует отнести невозможность получения представительной пробы при наличии в воздухе аэрозолей и твердых частиц, а также невысокие коэффици-

енты концентрирования. Кроме того, при отборе больших объемов существенно возрастает погрешность, связанная с испарением поглотительного раствора или потерей целевых компонентов из-за высоких скоростей аспирации.

3.2. Адсорбционный метод

3.2.1. Концентрирование на фильтрах

Вещества, находящиеся в воздухе в виде высокодисперсных аэрозолей (дымов, туманов, пыли), концентрируют на различных фильтрующих волокнистых материалах. В нашей стране для анализа аэродисперсных систем применяют, в основном, фильтры Петрянова из ультратонких волокон поливинилхлорида, которые гидрофобны, имеют малое сопротивление и даже при высоких скоростях фильтрации (более 1 м/с) улавливают 90 % аэрозолей с размером частиц 0,3 мкм и выше. Кроме того, фильтры Петрянова позволяют эффективно извлекать аэрозоли металлов (Be, Cr, Al, Pb и др.) [1]. При отборе пробы воздуха сконцентрированные на фильтрах загрязнения растворяют в сильных кислотах или щелочах (неорганические соединения) или в органических растворителях (органические соединения). К недостаткам этого метода десорбции следует отнести длительность процесса экстракции.

3.2.2. Адсорбция на твердых сорбентах

Как указывалось выше, фильтры обеспечивают количественное улавливание неорганических компонентов, содержащихся в воздухе в виде высокодисперсных аэрозолей, тогда как органические соединения, имеющие значительно большую упругость пара, могут частично испаряться. Эта проблема извлечения органических микропримесей из воздуха решается использованием метода сорбции на твердых сорбентах (активированный уголь, силикагель, полисорбы, порapakи, хромосорбы, амберлиты, тенаксы и др. [5]). Особую роль при этом играет выбор сорбента, который должен быть гидрофобным, химически инертным, механически прочным, хорошо адсорбировать анализируемые компоненты, сохранять сорбционные свойства в течение длительного времени, быть дешевым и доступным.

Среди сорбционных ловушек органических примесей достаточно популярны пробоотборные устройства на основе активных углей. Последние являются хорошими сорбентами для многих приоритетных неполярных органических загрязнителей (хлороуглеводороды, полиароматические углеводороды и др. с температурой кипения 200-280°C). Эффективность извлечения этих соединений из воздуха составляет 80-100 %, а сорбционная емкость может достигать сотен мг/г [1].

Однако сорбированные на активных углях примеси удерживаются очень прочно и их практически невозможно десорбировать при нагревании. Кроме того, сорбционные свойства активированных углей заметно понижаются при увеличении влажности воздуха.

Следует отметить, что ни один из наиболее распространенных сорбентов не отвечает всем требованиям, предъявляемым к веществам, используемым для отбора газозоодушных проб. Поэтому выбор сорбента обычно определяется спецификой поставленной задачи. Большинство исследователей применяют одновременно фильтры (из стекловолокна [6-8] или ваты из кварцевого стекла [9]) и сорбенты (из пенополиуретана [6, 10], смолы ХАД-2 [8, 10], силикагеля [7], этиленгликоля [9] и др.). Это позволяет эффективно (до 80-100 %) улавливать газообразную фракцию с последующей экстракцией толуолом в течение 12-48 часов [6, 8, 11].

Относительно новым вариантом метода адсорбции является реакционно-адсорбционное концентрирование [12], сущность которого заключается в получении концентрата контролируемых компонентов на сорбенте с одновременным отделением мешающих примесей в форколонке с сорбентами и химическими реагентами. Воздух пропускают через последовательно соединенные форколонку и концентратор с сорбентом. Форколонка поглощает из анализируемого воздуха строго определенные летучие органические соединения и неорганические газы и беспрепятственно пропускает в ловушку с сорбентом целевые компоненты.

3.2.3. Пассивный пробоотбор

В практике пробоотбора при оценке загрязнений атмосферы в последние годы все шире применяется пассивный пробоотбор [4]. В отличие от обычно используемых методов, заключающихся в аспирации заданного объема воздуха, пассивный пробоотбор основан на принципе молекулярной диффузии определяемого вещества через полимерную мембрану и его адсорбции в слое сорбента. Такие системы особенно удобны для определения токсичных веществ в течение длительного времени и в широком диапазоне концентраций. Они отличаются простотой конструкции и обслуживания и невысокой стоимостью. Основное достоинство метода – высокая избирательность благодаря выбору мембраны, которая пропускает в трубку с сорбентом лишь молекулы определенного размера.

3.2.4. Пробоотбор в капиллярные ловушки

С новой методологией извлечения и концент-

рирования токсичных примесей из воздуха связаны недавно появившиеся в практике пробоотбора капиллярные ловушки [4]. Обычно они представляют собой короткие капилляры из кварца или боросиликатного стекла, стенки которых покрыты микрочастицами (размером 0-18 мкм) активного угля или других углеродсодержащих сорбентов. Воздух (2-20 мл) пропускают шприцем через капилляр и после термодесорбции анализируют методом газовой хроматографии с капиллярными колонками. Эту же технику применяют и при работе с микроловушками, внутренние стенки которых покрыты пленкой неподвижной жидкой фазы или изготовлены из силикоанового полимера.

3.3. Криогенный (конденсационный) пробоотбор

При отборе из воздуха нестабильных и реакционноспособных соединений применяют криогенное концентрирование [1,3]. Этот метод основан на их вымораживании при температурах более низких, чем температура кипения определяемых компонентов. Отбор проб сводится к пропусканию воздуха через охлаждаемую ловушку (конденсатор) с достаточно большой поверхностью (трубки со стекловатой и т.п.). В качестве хладагентов используют жидкий азот или кислород, твердый диоксид углерода и др. Иногда охлаждаемые ловушки заполняют сорбентом. Отбор пробы в криогенные ловушки позволяет достичь предела обнаружения 1 мг/м³. Сочетание криогенного концентрирования и сорбции обеспечивает 1000-кратное и более концентрирование определяемых компонентов и примесей, которые в других условиях (при обычной температуре) взаимодействуют с материалом ловушки, делая пробоотбор невыполнимым.

В работе [13] была предпринята попытка провести классификацию веществ по степени возможности применения метода концентрирования. Однако, даже для очень близких по химическому составу веществ разброс температур, при которых происходит фазовый переход при одном и том же давлении, оказался очень велик. Кроме того, использование хладагентов и холодильных машин требует значительных энергозатрат, что существенно ограничивает применение этого метода.

3.3.1. Сущность и механизм конденсационного пробоотбора

При любом варианте низкотемпературного концентрирования наблюдается конденсация водяных паров. Представляется весьма интересным изучение и использование этого процесса

для последующего анализа полученного конденсата на содержание в нем примесей. Конденсация – процесс перехода вещества из газообразного в жидкое или твердое состояние – представляет собой фазовый переход первого рода, который возможен в результате изотермического сжатия, адиабатического расширения и охлаждения пара или понижения давления его и температуры, которые приводят к тому, что конденсированная фаза становится более устойчивой. Конденсация может происходить только при переохлаждении пара относительно температуры насыщения [14]. Характеристикой степени насыщения является отношение давления паров в газовой смеси (p) к давлению насыщенного пара над плоской поверхностью (p_*). Это отношение (S) называют пересыщением пара $S = p/p_*$. Для насыщенного пара $S = 1$, для ненасыщенного – $S < 1$, для пересыщенного – $S > 1$. Следовательно, при охлаждении газовой смеси, ненасыщенный пар может переходить вначале в насыщенный, а затем в пересыщенный.

При соприкосновении пересыщенного пара с жидкостью или твердым телом, имеющим более низкую температуру, чем газовая смесь, избыточные пары осаждаются из нее на более холодной поверхности, т.е. происходит конденсация на поверхности. Однако конденсация паров может происходить не только на видимой поверхности, но и на взвешенных в газе ядрах конденсации (пылинки, микроорганизмы, газовые ионы и т.п.), а также на зародышевых центрах конденсации, возникающих в результате случайных столкновений молекул пара (флуктуационное сгущение). Такую конденсацию называют конденсацией пара в объеме. Образующиеся при этом мельчайшие капельки жидкости и создают туман. Однако это разграничение конденсации в объеме и конденсации на поверхности является условным, т.к. в обоих случаях имеет место конденсация на поверхности: в одном случае на видимой, а в другом – на невидимых для невооруженного глаза ядрах конденсации. Только в случае конденсации на флуктуационных зародышах (в отсутствие инородных частиц в воздухе) механизм конденсации резко отличается от конденсации на поверхности [15].

Обычно конденсация паров начинается при определенном пересыщении пара, называемом критическим. Поэтому, чтобы происходила конденсация паров в объеме, необходимо соблюдать соотношение $S \geq S_{\text{крит}}$, где $S_{\text{крит}}$ – критическое пересыщение пара. Для плоской поверхности $S_{\text{крит}} = 1$; для вогнутой – $S_{\text{крит}} < 1$, для выпуклой поверхнос-

ти, которую имеют мельчайшие центры конденсации $S_{\text{крит}} > 1$. Этим и объясняется, что конденсация паров в объеме и образование тумана происходит только в пересыщенном паре, т.к. для того чтобы пар сконденсировался на центрах конденсации, имеющих выпуклую поверхность, пересыщение его должно быть больше единицы. Таким образом, для начала процесса конденсации необходимо обеспечить существование такой ситуации, чтобы с самого начала могли образоваться капельки жидкости достаточно большого размера, по отношению к которым пар не являлся бы сильно ненасыщенным [16, 17]. Критическое пересыщение пара $S_{\text{крит}}$ зависит от природы газа и жидкости, пары которой находятся в воздухе, от температуры, а так же от природы и заряда ядер конденсации [18].

Зависимость давления насыщенного пара над каплей и пересыщение пара от ее радиуса выражается уравнением Кельвина:

$$\ln S_r = 2\delta \cdot M / R \cdot T \cdot r \cdot \rho$$

где S_r – пересыщение, соответствующее равновесному давлению насыщенного пара над каплей, мм.рт.ст.; δ – поверхностное натяжение капли, дин·см⁻¹; r – радиус капли, см; M – молекулярная масса жидкости, г; R – универсальная газовая постоянная, равная 8,315 Дж/моль·К; ρ – плотность жидкости, г·см⁻³.

Если возникнут условия, при которых пересыщение пара в газовой смеси больше S_r , рассчитываемой по приведенному уравнению, то на поверхности капли будет конденсироваться пар и радиус капли будет увеличиваться. Если же пересыщение пара меньше S_r , то жидкость будет испаряться и радиус капли уменьшится. Подробное изучение теоретических основ и механизмов конденсации приведены в источниках [19-21].

3.3.2. Факторы, влияющие на конденсацию пара

Конденсация паров, в первую очередь, будет происходить на каплях и частицах, имеющих электрический заряд. В природе и производственных процессах газы всегда содержат ядра конденсации в виде ионов и мелких твердых и жидких частиц, на которых и будет происходить конденсация паров в объеме и образование капелек (переконденсация).

Явление переконденсации широко используется в различных технологических процессах. Например, для очистки отходящих газов от аэрозолей в работе [22] рассмотрена схема, включающая стадию увеличения размера субмикронных частиц аэрозолей за счет конденсации на них паров воды. Процесс конденсации воды на гиг-

роскопических аэрозольных частицах изучался в работе [23], где был использован процесс приближения к термодинамическому равновесию в замкнутом объеме, содержащем гигроскопические (солевые) аэрозольные частицы при введении в него пара или при его нагревании. Теоретическое изучение процессов конденсации и нуклеации паров в присутствии посторонних частиц (аэрозолей) и устранение образования тумана эффективной конденсацией приведено в работах [24] и [25].

В присутствии неконденсирующихся газов, конденсация начинается при достижении паром у поверхности охлаждения концентрации (парциального давления) и температуры, соответствующих состоянию насыщения. При этом на гидрофильной (хорошо смачиваемой) поверхности образуется сплошная пленка – пленочная конденсация. На гидрофобной поверхности будут образовываться мелкие капли конденсата, а между ними – пленка, разрывающаяся после достижения очень небольшой толщины (для воды – порядка микрона). Образующиеся мелкие капли затем растут в результате слияния между собой и подтягивания конденсата из разорвавшейся пленки. Наиболее крупные капли стекают вниз, соединяясь с нижележащими более мелкими каплями, после чего на освободившейся поверхности опять образуются мелкие капли и цикл повторяется снова (капельная конденсация) [26].

3.3.3. Методы детектирования компонентов при конденсационном пробоотборе

Процесс конденсации является достаточно гибким и универсальным методом пробоотбора при анализе воздуха и его целесообразно развивать, расширяя состав определяемых компонентов и совершенствуя его методическое осуществление. Конденсат, полученный из определенного объема воздуха, можно анализировать многими методами. Выбор метода анализа зависит от природы определяемых компонентов, их концентрации с учетом матричного влияния. При этом пробоотборе можно использовать многие методы анализа, рекомендуемые в издании [27] для определения вредных веществ в воздухе и они могут быть расширены за счет применения более чувствительных физико-химических и физических методов, интенсивно развивающихся в последние 2-3 десятилетия (вольтамперометрия, атомная адсорбция, атомная эмиссия с индуктивно связанной плазмой и другие).

Одним из инструментальных методов определения токсичных микроэлементов в объектах окружающей среды и наиболее экспрессным и

универсальным является атомно-эмиссионный спектральный анализ [27-30]. Для повышения чувствительности эмиссионного анализа проводят концентрирование пробы, способствующее снижению относительных пределов обнаружения на 3-4 порядка. Концентрирование уменьшает возможность систематической ошибки, упрощает создание эталонов и дает возможность применять этот метод для определения большого числа элементов (до 35) [31]. В работе [32] разработан экспрессный атомно-эмиссионный метод одновременного определения микроэлементов (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn, Ti, V, Zn) в при-

родных водах различной минерализации (от $2 \cdot 10^{-2}$ до 360 г/л). Представляется возможным применение вариантов этого метода к определению микропримесей в конденсате.

Несмотря на многочисленные публикации и исследования процессов конденсации, остается неясным механизм "захвата" молекул газа и частиц аэрозолей молекулами воды при фазовом переходе в жидкое состояние. Очевидно, что механизм абсорбции газообразных веществ поверхностью жидкости, описанный в работах [31-33], для данного случая неприменим и этот процесс требует дальнейшего углубленного изучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методы анализа загрязнений воздуха/Другов Ю.С., Беликов А.Б., Дьяконова Г.А., Тульчинский В.М. М.: Химия, 1984. 384 с.
2. Бочкова О.П., Шрейдер А.Д. Спектральный анализ неорганических газов. М.: Химия, 1963. 307 с.
3. Муравьева С.И. и др. Справочник по контролю вредных веществ в воздухе. / С.И. Муравьева, П.И. Казнина, Е.К. Прохорова. М.: Химия, 1988. 319 с.
4. Майстренко В.Н. и др. Эколого-аналитический мониторинг суперэкоотоксикантов / В.Н. Майстренко, Р.З. Хамитов, Г.К. Будников. М.: Химия, 1996. 319 с.
5. Другов Ю.С. Успехи в газохроматографическом определении загрязнений воздуха. // Журн. анал. химии. 1994. Т.49, № 12. С.1252-1278.
6. Eitzer B.D., Hites R.A. Dioxins and Furans in the Ambient Atmosphere: a Baseline Study // Environ. Sci. Technol. 1989. V.23, № 11. P.1389-1401.
7. Smith R.W., O'Keefe P.W., Hilker D.K., Aldous K.M. Determination of Picogram per Cubic Meter Concentration of Tetra- and Pentachlorinated Dibenzo-furans and Dibenzo-p-dioxins in Indoor air by High-Resolution Gas Chromatography / High-Resolution Mass Spectrometry // Anal. Chem. 1986. V.58, № 12. P.2414-2420.
8. Rappe C., Kjeller L.O., Bruckmann P., Hackhe K.H. Identification and Guntifration of PCDDs and PCDFs in Urban air // Chemosphere. 1988. V. 17, №1. P.3-20.
9. Scheidl K., Kuna R.P., Wurst F. Chlorinated Dioxins and Furans in Emission from Municipal Incineration // Chemosphere. 1985. V.14, №6/7. P.913-917.
10. Wagel D.J., Tiernan T.O., Nayler M.L. et all. Assessment of Ambient Air Sampling Technigues for Collegting Airborn Polyhalogenated Dibenzo-p-dioxins, Dibenzofurans and Diphenyls // Chemosphere. 1989. V.18, №1/6. P.177-184.
11. Fairless B.J., Bates D.J., Hundson J. et all. Procedures used to Measure the Amount 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin Near a Superfund Site Cleanup Operation // Enoiron. Sci Technol. 1987. V.21, №6. P.550-555.
12. Другов Ю.С. Реакционно-сорбционное концентрирование в анализе загрязнений воздуха // Заводская лаборатория. 1999. Т.65, №7. С.2-9.
13. Костин В.И., Власенко С.В. Очистка выбрасываемого воздуха от газов и паров методом конденсации // Изв. вузов. Стр-во. 1993. №5/6. С.83-86.
14. Химическая энциклопедия. Т.2 М.: Советская энциклопедия, 1990. С.890.
15. Амелин А.Г., Яшке, В.Л. Калганов. Туманы служат человеку. М.: Наука, 1985. 120 с.
16. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. М.: Высшая школа, 1987. 360 с.
17. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.2. М.: Наука, 1989. 591 с.
18. Амелин А.Г. Теоретические основы образования тумана при конденсации пара. М.: Наука, 1972. 234 с.
19. Исаченко В.П. Теплообмен при конденсации. М.: Энергия, 1977. 239 с.
20. Грин З., Лейн В. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы. Л.: Химия, 1964. 427 с.
21. Стенли Г. Фазовые переходы и критические явления. М.: Наука, 1973. 117 с.
22. Chaufa J.M. The Role of Minute Droplets in the Separation of Aerosols from Gases // Chem. Eng. and Process. 1989. V.26, №3. P.207-213.
23. Clement C.F. Warter Condensation on Hygroscopic Aerosols // J. Aerosol Sci. 1988. V.19, №7. P.875-877.
24. Flagan R.C. Issues in Aerosol Dynamics // J. Aerosol Sci. 1988. V.19, №7. P.783-793.
25. Kaufmann L.D. Kondensation von Gas / Dampf – Bemichen Durchhen Vermeidung der Nebelbildung // Chem.Jng.Tech. 1997. V.69, №9. P.1327-1332.
26. Химический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1983. 790 с.
27. Вайнфорднер Дж. Спектроскопические методы определения следов элементов: Пер. с англ. М.: Мир, 1979. 208 с.
28. Карякин А.В., Грибовская И.Ф. Методы оптичес-

кой спектрофотометрии и люминесценции в анализе природных и сточных вод. М.: Химия, 1987. 303 с.

29. Карякин А.В., Грибовская И.Ф. Эмиссионный спектральный анализ объектов биосферы. М.: Химия, 1979. 208 с.

30. Новиков Ю.В., Ласточкина К.О., Болдина З.Н. Методы исследования качества воды водоемов. М.: Медицина, 1990. 400 с.

31. Жданов А.А., Селиванов Н.Т. К вопросу об адсорбции газов и паров // Журн. прикл. химии. 1984. Т.57, №8. С.1864-1867.

32. Селиванов Н.Т. Растворимость газов в жидкостях // Журн. прикл. химии. 1988. Т.61, №2. С.424-426.

33. Бувевич Ю.А. К теории диссоциативной адсорбции и растворении газа в конденсированной фазе // Хим. физика. 1987. Т.6, №10. С.1438-1445.

* * * * *

Уважаемые коллеги!

В редакции журнала "Аналитика и контроль" имеются в наличии следующие сертифицированные методики выполнения измерений (МВИ):

1. Массовой концентрации сульфат-ионов в пробах природных и сточных вод нефелометрическим методом (диапазон измерений от 1,0 мг/дм³ до 20 мг/дм³ вкл.);
2. Массовых долей меди, хрома, цинка, никеля и свинца в пробах почв атомно-абсорбционным методом (диапазон измерений: Cu от 50 мг/дм³ до 1500 мг/дм³ вкл., Cr от 150 мг/дм³ до 550 мг/дм³ вкл., Zn от 100 мг/дм³ до 2000 мг/дм³ вкл., Ni от 20 мг/дм³ до 300 мг/дм³ вкл., Pb от 10 мг/дм³ до 1500 мг/дм³ вкл.);
3. Валового содержания кадмия и подвижных форм никеля, меди и цинка в пробах почв атомно-абсорбционным методом (диапазон измерений: Cu от 1.0 мг/дм³ до 350 мг/дм³ вкл., Zn от 10 мг/дм³ до 450 мг/дм³ вкл., Ni от 2.0 мг/дм³ до 15 мг/дм³ вкл., Cd от 0.2 мг/дм³ до 8.0 мг/дм³ вкл.);
4. Массовой концентрации нитрат-ионов в пробах природных и сточных вод потенциометрическим методом (диапазон измерений от 0,62 мг/дм³ до 620 мг/дм³ вкл.);
5. Массовой концентрации аммоний-ионов в пробах сточных вод фотометрическим методом (диапазон измерений: от 0,1 мг/дм³ до 100 мг/дм³ вкл.);
6. Массовых концентраций меди, хрома, марганца, никеля, цинка, кобальта и кадмия в пробах природных и сточных вод атомно-абсорбционным методом (диапазон измерений: Cu от 0.001 мг/дм³ до 0.01 мг/дм³ вкл., Cr от 0.0005 мг/дм³ до 0.01 мг/дм³ вкл., Mn от 0.001 мг/дм³ до 0.05 мг/дм³ вкл., Ni от 0.005 мг/дм³ до 0.05 мг/дм³ вкл., Zn от 0.001 мг/дм³ до 0.05 мг/дм³ вкл., Co от 0.005 мг/дм³ до 0.05 мг/дм³ вкл., Cd от 0.0005 мг/дм³ до 0.01 мг/дм³ вкл.);
7. Массовых концентраций никеля, меди, хрома, кобальта, свинца, магния, олова, калия, марганца, кадмия, железа и кальция в пробах сточных вод атомно-абсорбционным методом (диапазон измерений: Ni от 0.05 мг/дм³ до 50 мг/дм³ вкл., Cu от 0.05 мг/дм³ до 50 мг/дм³ вкл., Cr от 0.05 мг/дм³ до 50 мг/дм³ вкл., Co от 0.1 мг/дм³ до 50 мг/дм³ вкл., Pb от 0.5 мг/дм³ до 100 мг/дм³ вкл., Mg от 0.1 мг/дм³ до 100 мг/дм³ вкл., Sn от 1.0 мг/дм³ до 100 мг/дм³ вкл., Mn от 0.05 мг/дм³ до 10 мг/дм³ вкл., Cd от 0.05 мг/дм³ до 5.0 мг/дм³ вкл., Fe от 0.1 мг/дм³ до 100 мг/дм³ вкл., Ca от 5 мг/дм³ до 1000 мг/дм³ вкл., K от 5 мг/дм³ до 1000 мг/дм³ вкл.);
8. Массовой концентрации фторид-ионов в пробах сточных вод, поглотительных растворов и водно-спиртовых вытяжек с фильтров потенциометрическим методом (диапазон измерений от 0.019 мг/дм³ до 190 мг/дм³ вкл.).

Все методики аттестованы в соответствии с ГОСТ-8.563-96. Аттестация осуществлена по результатам метрологической экспертизы материалов разработки МВИ.

*По поводу приобретения методик обращаться в редакцию журнала по адресу:
Екатеринбург, 620078, п/о 78, а/я 308.
Тел: (3432) 75-45-05, 75-93-95*